



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Superior d'Agricultura de Barcelona

CONTROL BIOLÒGIC DE *Tuta absoluta* EN TOMÀQUET.

Treball final de grau
Enginyeria Agrícola

Autor: Oriol Serra Romeu

Tutor: Francesc Xavier Sorribas Royo

Tutor Extern: Rosa Gabarra Ambert

7 / 6 / 2018

Resum

Avui en dia està descrita la importància que tenen els parasitoides i el gran potencial que demostren tenir com a agents de control biològic de plagues. Establir estratègies per conservar i/o atraure nous individus o espècies d'enemics naturals en els ecosistemes que envolten els camps de cultiu, són primordials per aconseguir estratègies de control de plagues més sostenibles i respectuoses amb el medi ambient.

La primera part del treball s'enfoca en la determinació del parasitisme natural de *Liriomyza* spp. (Burgess) (Diptera : Agromyzidae) i de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera : Golenhiidae) sobre el cultiu de tomaquera a la zona del Baix Maresme. Una recerca que mostra una elevada abundància de diferents espècies de parasitoides com la del gènere *Diglyphus* spp. (Walker) (Hymenoptera:Eulophidae) que en el mes de juny suposa un 28% de parasitisme sobre els minadors de fulla del gènere *Liriomyza* i en el cas de *Necremnus tutae* (Walker) (Hymenoptera : Eulophidae) en el mes d'agost un 11% de parasitisme sobre *T.absoluta*.

La segona part es centra en estudiar la possibilitat d'introduir infraestructures ecològiques en forma de marges florals en els camps de cultiu per afavorir l'acció dels parasitoides. El nèctar floral de certes espècies florals pot augmentar la longevitat, la capacitat de reproducció i l'activitat dels adults de *Stenomesus* sp. nr. *japonicus* (Ashmead) (Hymenoptera:Eulophidae) per controlar *T.absoluta* sobre el cultiu de tomàquet.

Resumen

Hoy en día esta descrita la importancia que tienen los parasitoides i el gran potencial que demuestran tener como agentes de control biológico de plagas. Establecer estrategias para conservar y/o atraer nuevos individuos o especies de enemigos naturales en los ecosistemas que rodean los campos de cultivo son primordiales para conseguir estrategias de control de plagas más sostenibles y más respetuosas con el medio ambiente.

La primera parte del trabajo se centra en la determinación del parasitismo natural *Liriomyza spp.* (Burgess) (Diptera : Agromyzidae) y de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera : Gelechiidae) sobre el cultivo de tomatera a la zona del Baix Maresme. Una búsqueda que muestra una elevada abundancia de diferentes especies como el género *Diglyphus spp.* (Walker) (Hymenoptera : Eulophidae) que en el mes de junio supone un 28% de parasitismo sobre minadores de hoja como el genero *Liriomyza spp.* y en el caso de *Necremnus tutae* (Walker) (Hymenoptera : Eulophidae) en el mes de agosto un 11% de parasitismo sobre *T.absoluta*.

La segunda parte se enfoca en estudiar la posibilidad de introducir infraestructuras ecológicas en forma de margen floral en los campos de cultivo para favorecer la acción de los parasitoides. El néctar floral de ciertas especies florales puede aumentar la longevidad, la capacidad de reproducción i la actividad de los adultos de *Stenomesus sp. nr. japonicus* (Ashmead) (Hymenoptera:Eulophidae) para controlar *T.absoluta* sobre el cultivo de tomate.



Abstract

Nowadays we all know the importance of parasitoids and the great potential that they demonstrate as biologic control agents of pests. To build new strategies to conserve and attract new species of natural enemies in the ecosystem that surround the crop fields is essential to achieve more sustainable and environmentally friendly pest control strategies.

The first part of this study is focused on the determination of the natural parasitism of the *Liriomyza* spp. (Burgess) (Diptera : Agromyzidae) and the *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera : Golenhiidae) on the tomato crop in the Baix Maresme zone. A research that shows a high abundance of different species of parasitoids such as the genus *Diglyphus* spp. (Walker) (Hymenoptera: Eulophidae) that represent a 28% of the *Liriomyza* spp. parasitism in June. In August the *Necremnus tutae* (Walker) (Hymenoptera: Eulophidae) case point out a 11% of parasitism on *T.absoluta*.

The second part concern to study the possibility of introducing ecological infrastructures as floral borders in crop fields to benefit the parasitoids action. The nectar of certain floral species can increase the longevity, the reproductive capacity and the activity of adults of *Stenomesus* sp. nr. *japonicus* (Ashmead) (Hymenoptera: Eulophidae) to control *T. absoluta* on tomato crop.

Sumari

ÍNDEX DE FIGURES	5
AGRAÏMENTS	7
1. INTRODUCCIÓ	8
2. OBJECTIUS	13
2.2. Determinació del parasitisme natural	13
2.3. Efecte del nèctar floral en l'eficàcia de <i>Stenomesus japonicus</i>	13
3. MATERIALS I MÈTODES	14
3.1. Determinació del parasitisme natural	14
3.2. Efecte del nèctar floral en l'eficàcia de <i>Stenomesus japonicus</i>	18
4. RESULTATS	21
4.2. Determinació del parasitisme natural	21
4.3. Efecte del nèctar floral en l'eficàcia de <i>Stenomesus japonicus</i>	23
5. DISCUSSIÓ	26
5.2. Determinació del parasitisme natural	26
5.3. Efecte del nèctar floral en l'eficàcia de <i>Stenomesus japonicus</i>	27
CONCLUSIONS	30
BIBLIOGRAFIA	31
Referències bibliogràfiques	31



Índex de figures

Figura 3-1 Larves de <i>T.absoluta</i> de diferents estadis; d'esquerre a dreta: L1, L2, L3 i L4.	15
Figura 3-2 Quadre-resum de Determinació del parasitisme natural.	15
Figura 3-3 Full de recompte "Control integrat de plagues en tomàquet basat en la conservació o inocul·lació de mírids depredadors".	16
Figura 3-4 Larva de <i>T.absoluta</i> parasitada per <i>S.japonicus</i> .	19
Figura 3-5 Quadre-resum de assaig <i>Stenomesius japonicus</i> .	20
Figura 4-1 Mitjanes del percentatge de mortalitat i de parasitisme de <i>T.absoluta</i> , mitjana dels nombre de mírids per planta i mitjana del nombre de tractaments fitosanitaris pels diferents mesos.	21
Figura 4-2 Percentatge de mortalitat i parasitisme de <i>Liriomyza spp.</i> ; mitjana del nombre de mírids per planta i mitjana del nombre de tractaments pels diferents mesos.	22
Figura 4-3 Mortalitat mitjana \pm EE de larves de <i>T.absoluta</i> produïda per <i>S.japonicus</i> alimentats amb les diferents plantes en flor.	23
Figura 4-4 Mitjana de larves parasitades \pm EE de larves de <i>T.absoluta</i> produïda per <i>S.japonicus</i> alimentats amb les diferents plantes en flor.	24
Figura 4-5 Mortalitat total mitjana \pm EE de larves de <i>T.absoluta</i> produïda per <i>S.japonicus</i> alimentats amb les diferents plantes en flor.	25
Figura 5-1 Percentatge de mortalitat de larva de minadora de fulla de <i>D.isaea</i> incloent parasitisme i alimentació de l'hoste. Nombre de mostres de maig, juny i juliol, van ser de 20, 20 i 52 respectivament. Font: Albajes et al., 1994.	27
Figura 5-2 Arnó. Càrrega d'ous o mitjana d'òocits madurs per femella (\pm error estàndard) de <i>S.nr.japonicus</i> després d'alimentar-se amb diferents fonts d'aliment. Les barres amb	

diferents lletres mostren diferències significatives entre els tractaments ($P < 0,05$, la prova de Tukey). _____ 29



Agraïments

Aquest treball marca el final d'una etapa molt intensa i important de la meua vida. D'aquests 5 anys m'enduc moltes vivències, molts coneixements i moltes amistats. Gràcies a l'Hector, l'Oriol, el Marcos, el Carlos Cabrera, el Xovi, el Marc, el Carlos Belmonte i l'Anna que han sigut una part essencial de la meua vida social i acadèmica a la universitat.

Especials agraïments a la Montse Matas, tècnica de l'ADV del Baix Maresme, pel tracte fàcil i per compartir tants coneixements i hores de feina. A la Rosa Gabarra (tutora externa d'aquest treball) pels coneixements, per l'ajuda oferta durant tot aquest procés i per la paciència que ha tingut. També a tot l'equip d'entomologia de l'IRTA de Cabrils durant tota la part pràctica del treball. En Xavier Sorribas (tutor d'aquest treball), encara que ell no sigui conscient, el meu interès i dedicació a la sanitat vegetal és gràcies a ell i les seves classes.

A la meua família pel suport econòmic i sobretot moral que m'han donat durant tota aquesta etapa.

1. Introducció

La comarca del Maresme històricament ha sigut reconeguda per ser una zona fèrtil plena de conreus i amb una gran tradició agrícola. En el llarg de la història, gràcies el comerç naval entre els estats europeus i les seves colònies, s'han anat introduint noves espècies cultivables en el territori i dins les dietes del Mediterrani. Cultius nous importats d'arreu del món, que han hagut de superar un procés de coneixença i millora en el maneig. D'entre les moltíssimes espècies importades la *Solanum lycopersicum*, que en el llenguatge comú respon al nom de tomaquera, és la espècie de central importància en aquest treball.

L'origen de la tomaquera es localitza en una zona que s'estén entre el sud de Colòmbia i el nord de Xile. En aquell temps era una planta silvestre que poc a poc es va anar estenent fins a arribar a Mèxic, on els seus nadius se'ls hi atribueix la domesticació d'aquesta planta. La intramissió dels colons espanyols aproximadament cap a finals del segle XV, principis del segle XVI, fa que aquesta espècie sigui exportada cap a terres espanyoles. Poc a poc, també aquí, es va estenent fins que el segle XVIII arriba a la comarca del Maresme. A partir de llavors, i encara més després del 1891, que fins el moment el Maresme era terra de vinya i tarongers, amb l'entrada de la fil·loxera i la glaçada d'aquest mateix any, els cultius hortícoles van assolir la màxima importància a la comarca. Al llarg dels anys, varis cultius han tingut la màxima repercussió econòmica de la comarca, passant per les 'Mataró Potatoes', els pèsols de Llanerers, el maduixot del Maresme... fins avui en dia, on la tomaquera té un pes específic molt important.

Com tots els cultius, la tomaquera ha hagut de sobreviure a atacs de diferents plagues i malalties. Les més destacades en els últims anys han sigut la *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) i *Bemisia tabaci* (Gennadius), conegudes com a mosca blanca, el trip californià (*Frankliniella occidentalis* (Pergande)), la minadora americana (*Liriomyza trifolii* (Burgess)) i l'arna del tomàquet (*Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera:Gelechiidae)). Tots aquestes plagues, entre moltes d'altres així com malalties, han suposat entrebancs, pèrdues de producció, pèrdues de qualitat, pèrdues de post-collita, etc, han provocat que els pagesos desenvolupin tècniques culturals, de maneig i gestió dels cultius per tal de superar aquests problemes.



La protecció dels cultius envers els agents patògens que afecten a les plantes, a la collita i/o la post collita ha sigut un mal de cap des de temps immemorials de quan es va començar amb l'agricultura. L'evolució de tècniques i habilitats de la raça humana ha anat trampejant aquests problemes fins arribar als anys seixanta, coincidint amb la gran demanda nutricional i la reconstrucció de mig món a causa de la Segona Guerra Mundial, on va començar la gran època coneguda com la 'Revolució Verda'. L'ús de pesticides, insecticides, herbicides, acaricides, fungicides... va fer que els nostres cultius milloressin amb escreix la productivitat, rendiment i qualitat.

Al pas dels anys però s'ha observat que allò que prometia ser la gran solució també ha provocat problemes, i alguns de bastant greus. L'ús indegut, les males praxis i la sobre explotació d'aquests elements han provocat problemes de salut tant pel mateix agricultor, pels consumidors i pel medi ambient. A causa d'això han anat sorgint varies corrents de producció agrícola més respectables amb el medi i l'entorn. Totes aquestes corrents tenen per denominador comú la introducció de la 'tecnologia biològica', que s'aprofita de l'entorn i l'ecosistema per combatre els agents nocius.

El control biològic és una tècnica que utilitza el coneixement de certes espècies anomenades 'enemics naturals' per tal de controlar les plagues. Ja fa temps que els centres d'investigació, com l'Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentària (IRTA) entre molts d'altres arreu del món, han focalitzat els esforços i recursos per millorar aquest aspecte. S'ha estudiat durant anys espècies per tenir un coneixement sobre el seu cicle biològic, la morfologia i el seu comportament davant de les plagues i la seu impacte sobre aquestes.

A Catalunya els primers passos en el control biològic van ser a finals dels anys 70, en cultiu de tomàquet dins d'hivernacle, però no va ser entre el 1999 i 2001 quan el nombre d'hectàrees va incrementar-se amb escreix. Aquest primer augment el va propiciar el cultiu de pebrot d'hivernacle (Sánchez i Lacasa, 2006) a la regió de Múrcia. Tot i això l'increment en superfície més gran que ha viscut el control biològic a Espanya, va ser un període comprès entre el 2006 i 2011 quan la superfície de cultiu amb control biològic es va multiplicar per 30 (Arnó, 2013). Gràcies a les zones hortícoles potents del sud d'Espanya, especialment a Almeria amb cultius de pebrot, meló, síndria i tomàquet.

Els primers estudis per implementar el control biològic en cultius hortícoles per controlar la *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera : Aleyrodidae) (mosca blanca) es van emprar els parasitoides del gènere *Encarsia tricolor* (Foerster) (Hymenoptera: Aphelinidae) (Albajes et al., 1980). L' introducció d'aquests parasitoides en el sistema de gestió de plagues va provocar un fort canvi de mentalitat als pagesos, els quals havien de fer molts menys tractaments. La menor pressió química d'insecticides va provocar la espontània colonització de certes espècies de mírids depredadors. Les tres espècies més importants són el *Macrolophus pygmaeus* (Rambur) (Heteroptera: Miridae), *Nesidiocoris tenius* (Reuter) (Heteroptera: Miridae) i *Dicyphus tamaninii* (Wagner) (Heteroptera: Miridae) que van començar a prendre rellevància i a ser introduïts en els programes de control de *T.vaporariorum* i *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera : Aleyrodidae;), donat el seu caràcter de depredadors polífags. Es va observar que la seva activitat en els cultius redueix clarament els danys d'altres plagues com els dípters minadors i els lepidòpters (Gabarra et al. 2008).

La bona capacitat depredadora atorga als mírids una importància dins dels programes de control biològic fins al punt que, actualment, són els depredadors més utilitzats per controlar mosca blanca, minadors de fulla i poblacions d'àfids sobre el cultiu de tomaquera (Albajes i Alomar 1999; Lykouressis et al. 2009; Castañé et al. 2004; Sánchez 2009). Aquest fet ve donat per la possibilitat d'integrar aquestes tres espècies amb la compatibilitat d'efectuar tractaments amb productes fitosanitaris de síntesi (Arnó i Gabarra 2011; Zappalà et al. 2012a).

Més actualment els estudis s'han basat en programes de conservació d'aquestes espècies d'enemics naturals. Com el cas del "Projecte d'integració de recursos biològics en la producció hortícola", un grup operatiu d'associació europea per a la innovació en matèria de productivitat i sostenibilitat. Projecte desenvolupat entre el 2016 i 2017, coordinat per l'IRTA, amb l'objectiu d'incrementar la sostenibilitat dels cultius d'horta i reforçar estratègies de producció més respectuoses pel medi ambient. Una de les estratègies que forma el projecte és la d'incorporar infraestructures ecològiques (marges florals) per afavorir la presència de determinats enemics naturals. Aquests marges florals estan basats en dues espècies en concret: la *Lobularia maritima* (Brassicaceae) com a atraient de sírfids en cultius de ceba i *Calendula officinalis* (Asteraceae) com a atraient de mírids depredadors (Alomar et al., 2006).



Com bé indica el títol d'aquest treball, la plaga principal estudiada és la *Tuta absoluta*. Una arna de la família dels Lepidòpters originària de Sudamèrica que a l'any 2006 va ser detectada per primer cop a Castelló (Urbaneja et al., 2007). Afecta principalment als cultius de tomaquera tot i que amb menor presència també afecta a la patata, pebrot i albergínia (Arnó et al., 2009). Una plaga que afecta a les fulles i al fruit. Els ous són dipositats al revers dels folíols i en el moment que emergeix la larva penetra a la fulla i s'alimenta del mesofil·le. Després de passar per quatre estadis larvaris, les crisàlides poden restar dins la mina, al folíol o al sòl. El cicle biològic, depenent de les temperatures, pot completar-se entre 23 i 38 dies (Arnó & Gabarra, 2010).

El comportament *M.pygmaeus* com el *N.tenuis* com a agents de biocontrol de *T.absoluta* està documentat sota condicions d'hivernacle (Calvo et al. 2012; Bompard et al. 2013 per *N.tenuis* i *M.pygmaeus*, respectivament). En aquests articles recull la preferència que tenen aquestes dues espècies de mírids per la depredació d'ous de *T.absoluta*, així doncs la seva incidència sobre la fase larval de la plaga és reduïda (Urbaneja et al., 2009; Jaworski et al. 2013). Així doncs la situació és que cap dels enemics naturals que s'utilitzen actualment pel control *T.absoluta* té una incidència clara i significativa sobre els estadis larvaris de la plaga; període en el que realment la plaga causa el major dany al cultiu i a la producció. Com s'ha dit anteriorment la possible combinació entre enemics naturals i tractaments de síntesi fa que els agricultors hagin de recórrer als insecticides per reduir poblacions de *T.absoluta* on hi hagi molts individus en estadi larvari. Conseqüentment la necessitat de proporcionar als agricultors programes de control biològic complets per tot el cicle biològic de la plaga esdevé clau la integració d'enemics naturals capacitats per atacar les etapes larvàries de *T.absoluta* (Desneux et al., 2010).

Al llarg dels anys s'ha observat que la major part dels parasitoides descrits com a potencials agents de control biològic de *T.absoluta* formen part de la família Eulophidae (Desneux et al. 2010; Urbaneja et al. 2012; Zappala et al. 2012a, b), com també Braconidae i Ichneumonidae. El principal parasitoide que s'ha trobat estès per la zona mediterrània i és freqüentment utilitzat a Amèrica del Sud pel control biològic de *T.absoluta* és el *Necremnus* cf. *artynes* (Walker) (Hymenoptera:Eulophidae) actualment classificat com *Necremnus tutae* (Ribes i Bernardo). És un ectoparasitoide que afecta principalment el segon i tercer estadi de *T.absoluta* i que el seu cicle biològic és de 16 dies a 25°C (Gabarra i Arnó, 2010).

Tot i que la majoria de parasitoides observats en cultius de tomaquera infestats de *T. absoluta* són *N. tutae* hi ha d'altres espècies com *Stenomesus sp. nr. japonicus* (Ashmead) (Hymenoptera:Eulophidae). Aquestes dues espècies tenen especial rellevància a partir de l'estudi de Chailleux et al. 2014 en que demostra que tant el *N. tutae* i *S. japonicus* presenten millors prestacions per al control biològic de *T. absoluta* que altres parasitoides com el *Dineulophus phthorimaeae* (De Santis) i *Neochrysocharis formosa*(Westwood), reconeguts com a enemics naturals eficients a Amèrica del Sud (Desneux et al. 2010; Luna et al. 2010,2011). *Necremnus tutae* i *S. japonicus* presenten una major longevitat, altament interessant pel programes de control biològic ja que assegura una major supervivència en períodes de poca o no presència de la plaga; i també una major capacitat de control sobre *T. absoluta* (Chailleux et al. 2014).

Aquest potencial dels parasitoides com a agents de control es veu maximitzat quan gaudeixen de dietes altament riques en sucre, factor important per la longevitat i/o per la reproducció d'aquestes espècies (Benelli et al., 2017; Heimpel i Jervis, 2005; Jervis et al., 2008). Tot aquest sucre en forma de carbohidrats l'obtenen a partir del nèctar floral (Tena et al., 2016; Wäckers, 2005; Wäckers et al., 2008). El problema de l'agricultura actual és la no presència de flors en els camps de cultiu, per tant, molts enemics naturals no es poden desenvolupar sinó és que hi ha la presència de la plaga en els cultius. Reintroduir aquests recursos florals pot comportar entrada i/o proliferació de plagues però a llarg termini les poblacions de parasitoides poden créixer suficientment per prevenir un creixement de poblacions de plagues (Wäckers et al., 2007).

Aquest és l'objectiu d'aquest treball. De una banda determinar quines especies de parasitoides autòctons controlen de forma natural *T. absoluta* i *Liriomyza spp.* en cultiu de tomàquet i per l'altre, avaluar si la disponibilitat de nèctar floral millora la eficàcia de control de *T. absoluta* del parasitoide *Stenomesus japonicus*.



2. Objectius

2.2. Determinació del parasitisme natural

L'objectiu principal d'aquesta part del treball va ser determinar la importància que podria tenir el parasitisme natural en el control biològic de *Tuta absoluta* i *Liriomyza spp.* Així com determinar les espècies de parasitoides més abundants en els camps de cultiu de tomàquet del baix Maresme

2.3. Efecte del nèctar floral en l'eficàcia de *Stenomesus japonicus*

L'objectiu d'aquest assaig va ser el d'avaluar quins beneficis que podria aportar el nèctar floral de 4 espècies de plantes en flor (*Achillea millefolium*, *Calendula officinalis*, *Fagopyrum esculentum* i *Lobularia maritima*) a l'activitat del parasitoide *Stenomesus japonicus* pel control de *Tuta absoluta*.

3. Materials i mètodes

3.1. Determinació del parasitisme natural

Aprofitant el benentès entre l'IRTA i l'ADV del Baix Maresme, on vaig estar cursant pràctiques curriculars entre els mesos de maig de setembre del 2017, la primera part de l'estudi sobre el mostreig de camp es va dur a terme a diferents parcel·les dels socis d'aquesta associació amb cultiu de tomaquera. Aquestes parcel·les estan situades, com bé indica el nom de l'associació, al sud de la comarca del Maresme distribuïdes pels municipis de Alella, Argentona, Cabrera de Mar, Mataró, Sant Andreu de Llavaneres i Vilassar de Mar.

El total de pagesos que van voler participar en aquest treball van ser un total de 19 pagesos i en els que se'ls hi ha fet seguiment en un total de 25 parcel·les. D'aquestes parcel·les, 16 són hivernacle o túnels i les 9 restants són parcel·les d'aire lliure. Les mostres es van recollir entre el juny i setembre del 2017.

La recollida de mostra es va realitzar tenint en compte els següents criteris:

1-Agafar entre 25 i 50 folíols que continguessin una o més d'una mina de *T.absoluta* i/o de *Liriomyza spp.*. La quantitat de folíols depenia de la infestació de la parcel·la.

2-En la mesura del possible, els folíols van de ser de la part jove i tendra de la planta.

3-La mida de les mines era mitjana per tal d'agafar larves joves (entre els estadis larvaris L2 i L3) que són les més propenses a ser parasitades (Urbaneja et al, 2012). L'estadi L1 són massa petites perquè les femelles dels parasitoides les puguin trobar i l'estadi L4 ja són massa grans per depositar-hi un ou (**Figura 3-1**).





Figura 3-1 Larves de *T. absoluta* de diferents estadis; d'esquerre a dreta: L1, L2, L3 i L4.

Un cop recollida, es guardava en una bossa de plàstic amb l'etiquetatge corresponent i s'emmagatzemava a les neveres de l'IRTA (4°C) a l'espera de ser processades.

		Hiv./R. Hiv.	Lytemica				Tuta Absoluta				
Data	Pagès	Parcel·la	S. Vis	L. mort	L. par	L. par. E	T. Vis	T. mort	T. par	T. par. E	Observacions

Figura 3-2 Quadre-resum de Determinació del parasitisme natural.

El processament de mostres s'iniciava amb l'obertura de mines amb l'ajut d'agulles d'insulina i sota la lupa binocular (20 i 40 augments). En l'obertura de mines es va tenir en compte certs aspectes, tal i com mostra el quadre-resum (**Figura 3-2**). S'avaluava si la larva de la plaga era viva, si era morta o si estava parasitada. Hi ha un quart estat en el qual podíem trobar la larva al qual anomenàvem "Larva parasitada emergida". En aquest cas consideràvem tota larva que tingués senyals d'haver estat parasitada (per exemple el seu moviment era molt més lent i poca resposta a estímuls exteriors), l'absència de larva de la plaga però que estava present la larva o pupa del parasitoide.

Durant el procés, cada cop que es trobava una larva de plaga parasitada, una larva de parasitoide o una pupa del parasitoide, es guardava en un pot de plàstic transparent amb el tap foradat i tapat amb una malla (per permetre la respiració i ventilació del contingut). Aquest pot es guardava en cambra climàtica de $25 \pm 1^\circ\text{C}$, $75 \pm 10\%$ d'humitat relativa i un fotoperíode de 16:8 h (L:D). Passada una setmana, s'extreia el contingut i es guardava el parasitoide que hagués sorgit

de la mostra, en un tub d'assaig ple d'alcohol de 70%. Posteriorment s'observava el contingut del tub i amb l'ajut de claus taxonòmiques es determinava de quin gènere es tractava.

En aquest estudi també es va tenir en compte el nombre de mírids presents en els cultius on es va agafar mostra i els tractaments insecticides que els pagesos van dur a terme fins el dia de recollida de mostra. Les dues dades provenen dels recomptes de camp que duu a terme la tècnica de l'ADV a cada visita que fa als socis. Aquest recompte titulat "Control integrat de plagues en tomàquet basat en la conservació o inocul·lació de mírids depredadors" (**Figura 3-3**), està descrit a la "Norma tècnica per a la producció integrada d'hortalisses" del Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació (DARP) amb la qual l'ADV es regeix per les seves visites i recomanacions tècniques. L'esmentat recompte és un document on es recull els tractaments fets pel pagesos, les recomanacions tècniques que dona el tècnic als pagesos, el nombre de mírids a les 7 fulles superiors de 14 plantes de tomaquera per parcel·la així com d'altres elements avaluats.

The figure displays two pages of a technical form used for pest control monitoring in tomatoes.
Page 1 (Left): Titled "CONTROL INTEGRAT DE PLAGUES EN TOMÀQUET BASAT EN LA CONSERVACIÓ O INOCUL·LACIÓ DE MÍRIDS DEPRADADORS". It includes fields for "Parcel·la", "Data", and "Full Nom". A section for "OBSERVACIONS GENERALS" contains checkboxes for "Mètode", "Punt", and "Vista". Below this is a table for "TRACTAMENTS REALITZATS DES DEL RECOMPTA ANTERIOR" with columns for "DATA", "PRODUCTE", "DOSI", "CONTROL DE", and "RECOMANAT". At the bottom, there is a section for "OBSERVACIONS GENERALS I INSTRUCCIONS DEBIDOR" and a small table for "ESPÈCIE INVASORA" and "% CONTROL".
Page 2 (Right): Titled "FULL 2 (continuació): Seguir de plagues i depredadors en planta (Arros 2)". It features a large table with columns for "Data", "Parcel·la", "Mírids", "Plagues", and "Notes". Below the table is a graph showing the relationship between "Mírids" and "Plagues" with a curve. The graph has "Mírids" on the x-axis (0 to 100) and "Plagues" on the y-axis (0 to 100). The curve starts at (0,0) and rises steeply, then levels off. There are points marked on the curve with letters A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z. Below the graph is a small table for "MÍRIDS DEPRADADORS" and "PLAGUES".

Figura 3-3 Full de recompte "Control integrat de plagues en tomàquet basat en la conservació o inocul·lació de mírids depredadors".

Per calcular el nombre de mírids es van agafar tots els recomptes, fins el dia de presa de mostra, i sumar tots els individus, tant adults com nimfes, de les tres espècies de mírids depredadors. La suma de mírids es va dividir pel número de plantes, tenint en compte tots els recomptes. Així doncs la dada obtinguda és una aproximació del nombre de mírids per planta que existia a la parcel·la fins els dia de la recollida de mostra.



Pel que fa al nombre de tractaments es va utilitzar el mateix recompte, on s'anota el quan i quins tractaments s'han realitzat entre visites de la tècnica. Així doncs vam poder extreure el nombre de tractaments que s'havien produït en aquell cultiu i possiblement haguessin afectat directe o indirectament sobre les plagues i/o els enemics naturals. En aquest no es van considerar els tractaments biològics, com és el cas dels formulats amb *Bacillus thuringiensis* perquè només maten els primers estadis de la *T. absoluta*, i es van considerar tots els insecticides, fungicides i acaricides síntesi degut als efectes secundaris que alguns productes tenen envers als enemics naturals.

L'estudi volia contemplar les dues plagues per separat; així doncs es van diferenciar les dades de mostreig tenint en compte: 1-La plaga a analitzar i 2-Que el nombre de larves observades a la mostra fos major de 5 per a la plaga a analitzar. És a dir que si una parcel·la tenia 10 de *T. absoluta* i 2 de *Liriomyza spp.*, aquella parcel·la només es tenia en compte per l'anàlisi de *T. absoluta*.

Per cadascuna de les plagues també es va fer la diferenciació en el mes que es va procedir a la recollida. És a dir, que les dades es van separar per cada plaga i pels mesos de juny, juliol i agost. En aquest últim mes també se li van afegir les dades del mes de donat que són mostres dels primers dies de setembre.

Les dades sobre el parasitisme i mortalitat de *T. absoluta* van provenir de 23 camp d'aire lliure i hivernacles amb la separació de: 6 al mes de juny, 9 al mes de juliol i 8 al mes de agost. Amb aquesta divisió es va calcular per cada camp o hivernacle el percentatge de mortalitat i de parasitisme així com el nombre mitjà de mírids per planta i de tractaments com s'ha explicat anteriorment. A partir d'aquí es van calcular les mitjanes i les desviacions estàndard de cada paràmetre (%mortalitat, %parasitisme, nº mírids i nº tractaments) per cadascun dels 3 mesos.

En el cas la *Liriomyza spp.* el procediment i els criteris de cribratge de dades va ser exactament el mateix descrit per *T. absoluta* tot i que les dades procedeixen de 17 parcel·les de les quals 3 van ser del juny, 8 del juliol i 6 de l'agost.

3.2. Efecte del nèctar floral en l'eficàcia de *Stenomesus japonicus*

Tot l'experiment es va realitzar a les instal·lacions de l'IRTA (Cabrils, Barcelona, Espanya) en condicions controlades d'una cambra climàtica de $25 \pm 1^\circ\text{C}$, $75 \pm 10\%$ d'humitat relativa i un fotoperíode de 16:8 h (L:D); utilitzant el material de laboratori com també les cries de *T. absoluta* i *S. japonicus*.

La cria de *T. absoluta* va iniciar-se en el 2011 a partir de recollides individuals de camps de Maresme infestats de *T. absoluta* i s'han anat aportant noves poblacions periòdicament. Aquesta cria de *T. absoluta* es portà a terme sobre plantes de tomaquera, addicionalment alimentades a amb aigua i mel, en cambres de creixement ($25 \pm 1^\circ\text{C}$, RH $70 \pm 10\%$, 16L: 8D) dins de gàbies (55 x 55 x 60cm). En el cas de *S. japonicus* va ser criat en plantes de tomaquera infestada de *T. absoluta* de manera similar a Chailleux et al. 2014. Per obtenir els individus de *S. japonicus* per l'experiment, es van guardar els folíols on hi havia larves de *T. absoluta* parasitada i es guardaven en un pot airejat amb un paper impregnat de mel (per alimentar-se) fins que la majoria d'adults havia emergit. Com a resultat obteníem adults de parasitoide entre 0 i 3 dies de vida.

Les quatre espècies de plantes que van ser estudiades van ser la *Achillea millefolium* L. i *Calendula officinalis* L. de la família de les Asteraceae; *Lobularia marítima* L. de la família Brassicaceae i *Fagopyrum esculentum* de la família de les Polygonaceae. La *C. officinalis* és una de les espècies que s'han utilitzat més en els últims anys com a planta per promoure la presència de miríds depredadors en cultius de tomàquet (Alomar et al., 2006). Les altres tres espècies van ser seleccionades perquè estan descrites com a potenciadores de l'activitat dels parasitoides (Bosch et al., 1997; Dib et al., 2012; Geneau et al., 2012; Rahat et al., 2005; Vattala et al., 2006; Wäckers, 2004; Winkler et al., 2009) i especialment en estudis realitzats amb l'objectiu d'implementar-les en els ecosistemes Mediterranis (Alomar et al., 2008; Arnó et al., 2012; Arnó et al., 2018). Totes les flors d'aquestes quatre espècies que es van utilitzar durant l'assaig provenien dels cultius situats a la finca de l'IRTA a Cabrils.

Per cada repetició de l'assaig s'iniciava amb la infestació de *T. absoluta*. S'alliberaven 40 adults de *T. absoluta* sobre cinc tomaqueres (estadi entre 4 i 5 fulles) dins d'una gàbia (45 x 45 x 55 cm) en condicions controlades de la cambra de creixement (anteriorment caracteritzada). Passada una setmana s'extreien els adults de *T. absoluta* amb l'objectiu de homogeneïtzar el desenvolupament



de les larves. Aquest punt és molt rellevant ja que *S.japonicus* parasita preferentment el segon i tercer estadi larvari (Chailleux et al., 2014). Passats 14 dies des de l'inici de l'assaig, es muntava un cilindre transparent (\varnothing 20 cm i h 30 cm) amb una malla en un extrem per la ventilació i en el altre extrem un pot i el test amb la planta de tomaquera prèviament infestada. S'introduïa un mascle i una femella (0-72 h) de *S.japonicus* per a cada un dels 5 cilindres que formaven una repetició.



Figura 3-4 Larva de *T.absoluta* parasitada per *S.japonicus*.

Cada cilindre corresponia a cada tractament en el que es va alliberar els adults de *S.japonicus* els quals corresponen a les quatre espècies de plantes a estudiar, més el cilindre control. Aquest últim cilindre contenia la tomaquera infestada, els adults de *S.japonicus* i dos tubs d'assaig que contenien aigua potable (simulant l'aigua que es podria trobar en qualsevol camp); la resta de cilindres contenien el mateix amb l'afegit de les flors de cada espècie (5 flors en el cas de *C.officinalis* i inflorescències entre 20 i 40 flors obertes per la resta d'espècies). Les flors eren introduïdes al cilindre amb un tub que contenia aigua i amb un tap de silicona amb un forat per tal de poder humitejar les flors/inflorescències i evitar que els parasitoides s'ofeguessin. Cada 3 o 4 dies es canviaven les flors per tal de proporcionar als parasitoides nèctar floral ric i en bon estat.

Al cap de set dies més s'extreien els adults de *S.japonicus* i es sexaven. D'altra banda es desfullava la planta de tomaquera i guardava en una bossa de plàstic dins d'una nevera a 10°C.

Data	Mostra	Tractament	nº mina	Larva viva	larva morta	larva parasitada	L.P. Emergit	Observacions

Figura 3-5 Quadre-resum de assaig *Stenomesus japonicus*.

El processament de les mostres va ser similar al descrit en el punt **3.1 Determinació del parasitisme natural**. S'obria cada mina dels folíols recollits i s'observava si hi havia o no presència de larva i es classificava segons el quadre-resum (**Figura 3-5**). Es classificava en larves vives, larves mortes, larves parasitades o larves parasitades emergides.

Posteriorment es van examinar les dades i s'eliminà la primera de les repeticions del tractament de *A.millefolium*, el qual va presentava únicament 10 larves vives. Es rebutjà aquesta repetició perquè contemplar únicament larves vives significa que el parasitoide no ha emprès cap mena d'activitat envers la plaga. Així doncs el conjunt de dades es va quedar amb un total de 1328 larves i han sigut analitzades amb el programa MiniTab versió estudiant 2017.

Es van realitzar tres anàlisis de variància (ANOVA) d'un sol factor (distribució normal). Els tres factors que van ser analitzats van ser la mortalitat de les larves, les larves parasitades i la mortalitat i el parasitisme junts en relació amb els tractaments aplicats a l'assaig. Com ja s'ha dit anteriorment, l'objectiu era avaluar si alguna d'aquestes espècies de plantes afavorien de manera notòria l'activitat de *S.japonicus* enfront la *T.absoluta*.

El factor mortalitat va ser avaluat perquè aquest parasitoide està descrit que s'alimenta de les larves hoste (Chailleux et al., 2014). El factor parasitisme per avaluar si alguna de les espècies de plantes a través del nèctar floral va proporcionar una millor capacitat de reproducció dels parasitoides. I per últim el factor mortalitat més parasitisme que podria indicar la capacitat que pot tenir el parasitoide de reduir les poblacions de la plaga.



4. Resultats

4.2. Determinació del parasitisme natural

Tal com mostra la **Figura 4-1** la mitjana del percentatge de parasitisme de les larves de *T. absoluta* es va incrementar del juny a l'agost en que va ser superior al 10%. En canvi el percentatge de mortalitat de les larves de *T. absoluta* grans va passar del 70% al juny fins al 30% de l'agost. La major part del parasitoides adults emergits de les larves de *T. absoluta* parasitades van ser *Necremnus spp*, la espècie esta pendent de confirmació per especialistes però sembla que la major part dels exemplars serien de *N. tutae*.

En aquests camps la mitjana de tractaments fitosanitaris va ser similar en els tres mesos encara que va ser menor en el mes d'agost. En canvi, la mitjana de mírids per planta va ser notablement més elevada al mes de agost que al mes de juny a la inversa del que va passar amb el percentatge de mortalitat de larves.

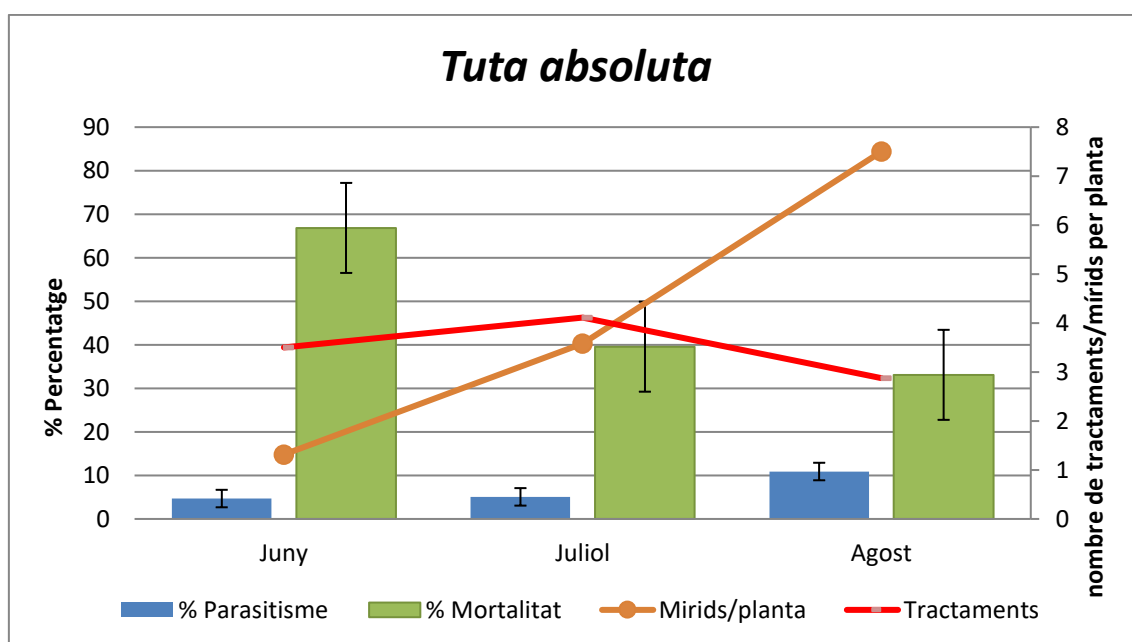


Figura 4-1 Mitjanes del percentatge de mortalitat i de parasitisme de *T. absoluta*, mitjana dels nombre de mírids per planta i mitjana del nombre de tractaments fitosanitaris pels diferents mesos.

A la **Figura 4-2** en canvi podem observar que la mitjana del percentatge de parasitisme de *Liriomyza spp.* al mes de juny va ser proper al 30% i va disminuir a mesura que avançava la campanya fins a ser proper al 10% al mes d'agost. De les mostres de larves parasitades el parasitoide que va emergir majoritàriament va ser *Diglyphus spp.*

El percentatge de mortalitat larvària va ser elevat durant tota la campanya passant del 64% del mes de juny al 45% a l'agost. A diferència de la **Figura 4-1**, la **Figura 4-2** referent a la *Liriomyza spp.* la mitjana del nombre de tractaments es pot observar una variabilitat força superior a *T.absoluta*. En el mes de juny gairebé no arriba ni al 1,5 tractaments, al juliol s'enfila als 5,5 i a l'agost cau fins als 3. En canvi, l'abundància de mírids depredadors per planta va passar de ser inexistent a ser de més de 7 individus per planta.

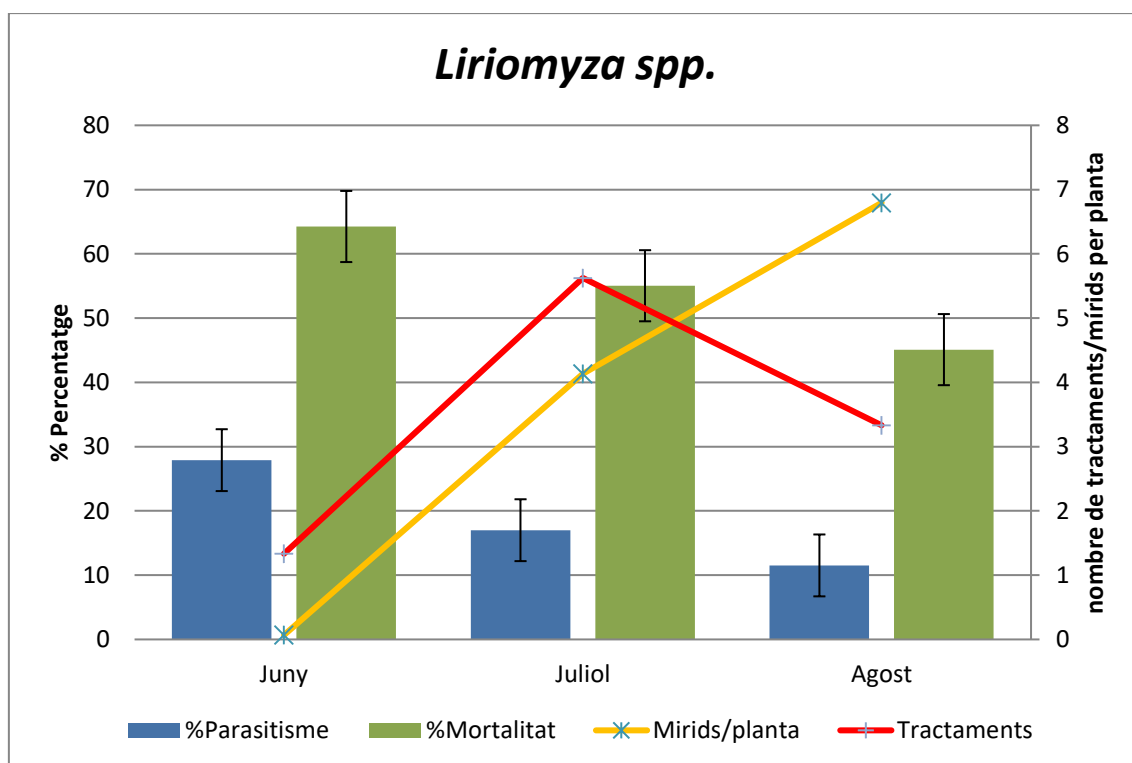


Figura 4-2 Percentatge de mortalitat i parasitisme de *Liriomyza spp.*; mitjana del nombre de mírids per planta i mitjana del nombre de tractaments pels diferents mesos.

Donat que les mostres de *T.absoluta* i de *Liriomyza spp.* es van agafar sovint en els mateixos camps les corbes de evolució dels mírids i tractaments són pràcticament la mateixa tant en una plaga com en l'altre. I en quan el parasitisme podem observar que al final les dues gràfiques acaben tenint aproximadament el mateix percentatge, als voltants del 10%.



4.3. Efecte del nèctar floral en l'eficàcia de *Stenomesus japonicus*

La mitjana de la mortalitat de larves de *T. absoluta* produïda pels adults de *S.japonicus* no va ser significativament diferent entre els tractaments en que es va subministrar nèctar floral i el tractament control ($F = 1,09$, $GLL = 4$, $P = 0,374$) (**Figura 4-3**). No obstant, es pot destacar que quan el parasitoid va disposar de *F.esculentum* mitjana de larves *T.absoluta* mortes va ser de 6,5 .

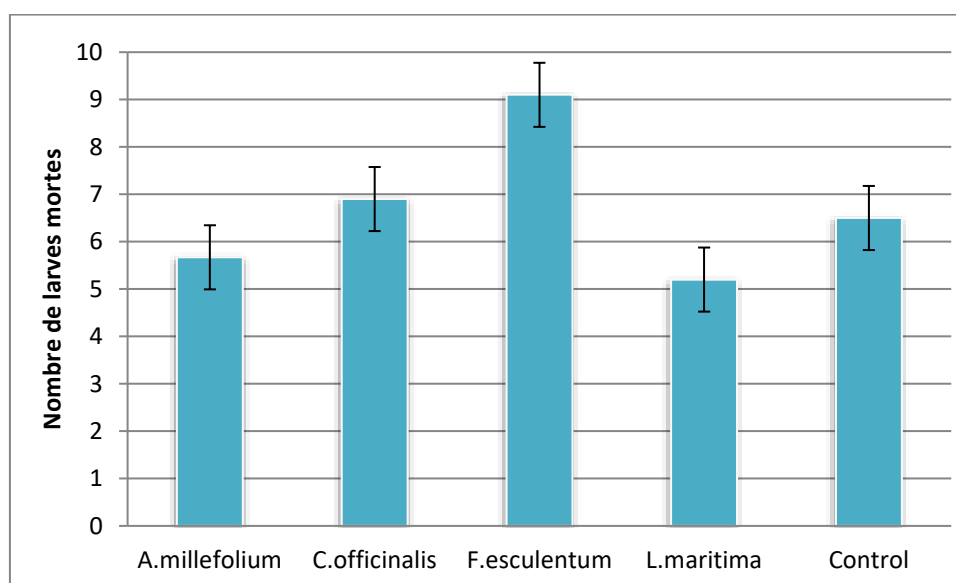


Figura 4-3 Mortalitat mitjana \pm EE de larves de *T.absoluta* produïda per *S.japonicus* alimentats amb les diferents plantes en flor.

El nombre de larves parasitades per *S.japonicus* en els diferents tractaments no va ser significativament diferent ($F = 0,33$, $GLL = 4$, $P=0,854$) (**Figura 4-4**). En el cas de el nombre de larves parsitades destaquem que quan el parasitoide va disposar de nèctar floral de *F.esculentum* o *L.maritima* van ser de 5,5.

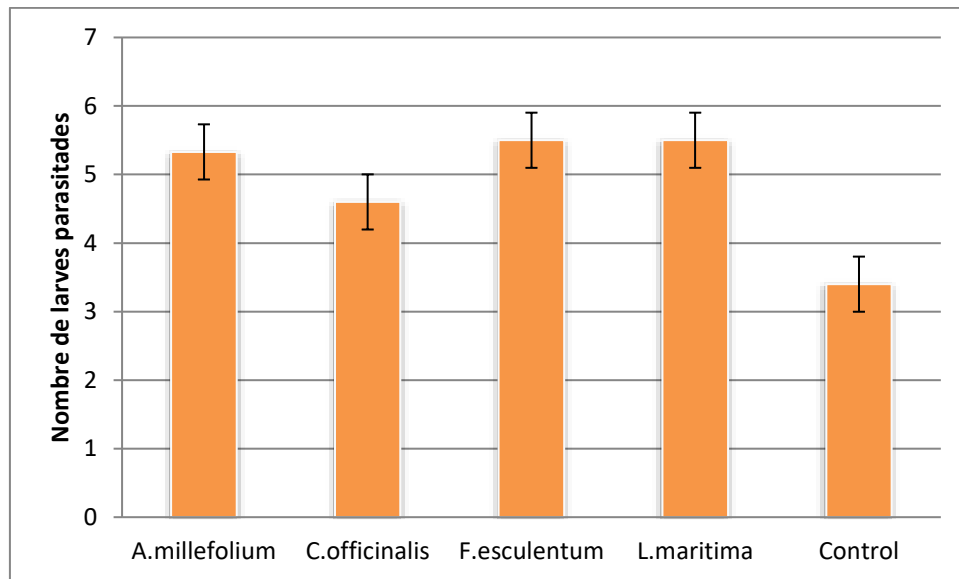


Figura 4-4 Mitjana de larves parasitades \pm EE de larves de *T. absoluta* produïda per *S. japonicus* alimentats amb les diferents plantes en flor.

Després d'analitzar i comprovar que cap dels dos anàlisis anteriors presentava una diferència significativa es va valorar analitzar la mortalitat i el parasitisme de *S. japonicus* en conjunt, és a dir, tota larva morta i parasitada de l'assaig era conseqüència directe de l'activitat del parasitoide.

El plantejament era el mateix, una hipòtesi nul·la la qual les mitjanes eren iguals i la hipòtesi alternativa on l'activitat de *S. japonicus* depenia d'algun tractament.

La mortalitat total (larves parasitades i mortes) que va produir *S. japonicus* sobre les larves de *T. absoluta* no va ser tampoc significativament diferent entre els diferents tractaments ($F = 0,51$, $GLL=4$, $P = 0,730$) (**Figura 4-5**). No obstant la mortalitat total produïda pel parasitoide quan es va poder alimentar de *F. esculentum* va ser el 32% més elevada que l'activitat en el control.



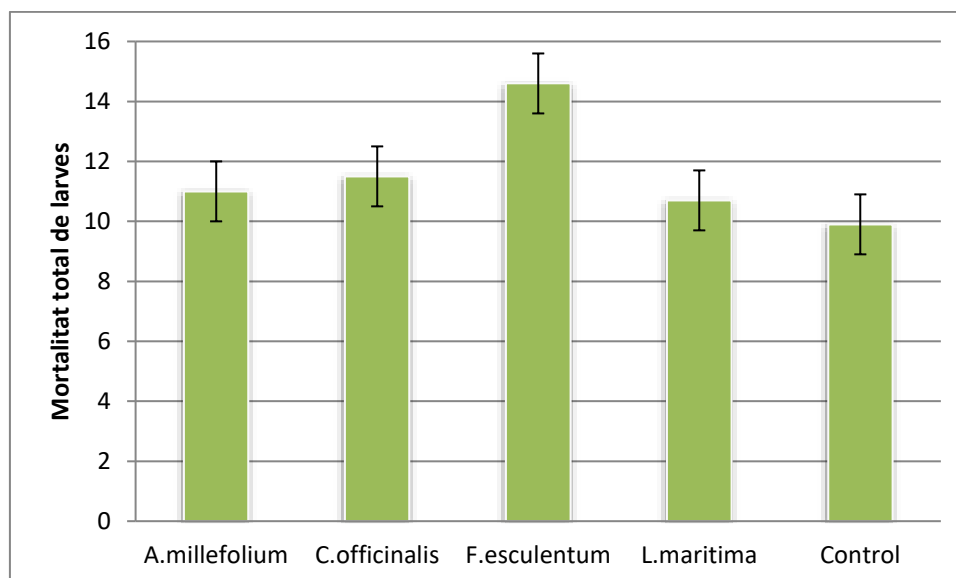


Figura 4-5 Mortalitat total mitjana \pm EE de larves de *T.absoluta* produïda per *S.japonicus* alimentats amb les diferents plantes en flor.

5. Discussió

5.2. Determinació del parasitisme natural

Necremnus tutae va ser el parasitoide més abundant sobre larves de *T. absoluta* a la zona del Baix Maresme. Però si ampliem l'horitzó, a Egipte, França, Itàlia, Tunísia i Algèria també el descriuen com el gènere més freqüent i estès del Mediterrani (Gabarra et al., 2014; Zapalà et al., 2013).

És una espècie que pot tenir una longevitat elevada i segons de quin nèctar floral s'alimenta aquesta pot arribar als 60 dies (Balzan i Wäckers, 2013; Chailleux et al., 2014; Arnó et al. 2018) tot i que la seva nutrició es complementa amb la depredació de larves de *T. absoluta*. Aquesta alimentació de larves de *T. absoluta* és molt important, que pot arribar entre el 36-50% com mostra Chailleux et al. (2014). Aquests resultats sumats a la longevitat dona entendre que el potencial que té *N. tutae* com a agent de control biològic és molt important.

L'activitat de *T. absoluta* provoca molts més danys que la minadora, així doncs des del principi hi ha una forta pressió química per controlar la població. Aquesta major pressió de tractaments insecticides i les poblacions no gaire abundants de *T. absoluta* durant els primers mesos de la campanya (**Figura 4-1**) possiblement fan que les poblacions de parasitoides de *T. absoluta* siguin menors. Però al mes d'agost quan el *Necremnus spp.* ja està més instal·lat, trobem que el percentatge de parasitisme natural va ser més elevat (11% de larves parasitades). Com ja he esmentat prèviament, *Necremnus spp.* a part de parasitar, mata un número similar de larves de *T. absoluta* per tant possiblement part de la mortalitat de larves que vam trobar també era deguda a l'activitat del parasitoide.

En el cas de la *Liriomyza spp.* observem que el parasitoide majoritari va ser el *Diglyphus spp.* Un gènere molt estès per la zona del Mediterrani (Albajes et al., 1994). Tot i que està molt estès fa uns anys la població natural de *Diglyphus spp.* controlava les poblacions de *Liriomyza spp.* actualment no és suficient (Arnó et al., 2003). Com podem veure a la **Figura 5-1** copia dels resultats de Albajes et al. (1994) la taxa de mortalitat i parasitisme en el mes de juny és la més elevada que dona a entendre que les poblacions de *Diglyphus spp.* es desenvolupen en fases primerenques de la



campanya del tomàquet. La podem relacionar amb la **Figura 4-2**, on el mes de juny vam observar el 65% de mortalitat i gairebé un 30 % de parasitisme.

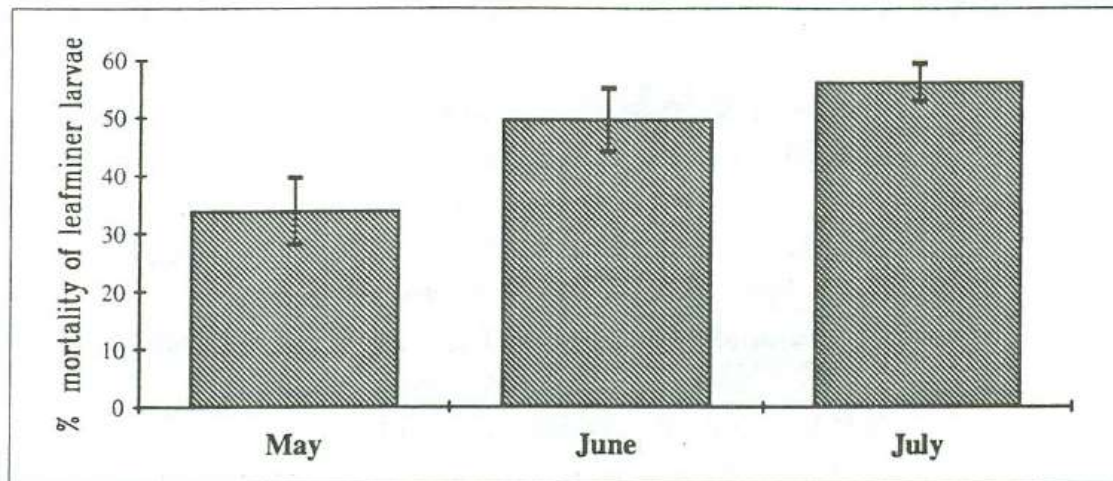


Figura 5-1 Percentatge de mortalitat de larva de minadora de fulla de *D. isaea* incloent parasitisme i alimentació de l'hoste. Nombre de mostres de maig, juny i juliol, van ser de 20, 20 i 52 respectivament. Font: Albajes et al., 1994.

5.3. Efecte del nèctar floral en l'eficàcia de *Stenomesus japonicus*

Tot i que en cadascun dels anàlisis ANOVA que s'han fet no hi han diferències estadísticament significatives entre els diferents tractaments, es poden observar alguns detalls.

Com s'ha esmentat a la introducció, la font principal de sucres en un ambient natural és a través del nèctar floral que conté principalment carbohidrats però també aminoàcids, àcids orgànics, lípids i proteïnes (Nicolson and Thornburg, 2007) que són importants per la ovogènesi (Jervis et al., 2008). Una dieta rica en proteïna també està relacionada amb l'increment de la producció d'ous, i com és el cas de *S. japonicus*, pot aconseguir aquests nutrients addicionals a partir d'alimentar-se de larves de *T. absoluta* quan la plaga està present (Balzan i Wäckers, 2013; Biondi et al. 2013 ; Calvo et al, 2013; Chailleux et al., 2014).). Quedaria per determinar l'efecte que pot tenir el nèctar floral quan les densitats de la plaga són molt baixes o quan no està present la plaga.

Segons Arnó et al. (2018) (**Figura 5-2**) quan el parasitoide s'alimenta de nèctar floral d'algunes flors s'incrementa la seva longevitat i s'incrementa el seu potencial reproductiu.

L'espècie de planta que va mostrar millors resultats en cadascun dels tres anàlisis és el *F.esculentum*. Com podem observar a la **Figura 5-2** de Arnó et al. (2018) com augmenta la ovogènesi de les femelles de *S.japonicus* quan només s'alimenten de nèctar floral de *F.esculentum* i que aquest efecte es veu reflectit en la **Figura 4-4**, on el *F.esculentum* juntament amb la *L.maritima* va donar les mitjanes de parasitisme més alta. Tanmateix va ser l'espècie de planta que va donar la mitjana més elevada de mortalitat. Així doncs podríem dir que el nèctar de *F.esculentum* proporciona una suficient quantitat de nutrients per assegurar una bona ovogènesi i a més, aporta un extra d'energia al parasitoide que li permet buscar i alimentar-se activament de larves de *T.absoluta*.

Calendula officinalis pertany a la família de les compostes, que emmagatzemen el nèctar al fons del calze, i és possible que un insecte tant petit tingui dificultats per accedir-hi. Això explicaria la baixa capacitat de parasitisme fet que obliga a nodrir-se amb larves de *T.absoluta*. I pel que fa al Control és una situació similar a la *C.officinalis*; al no tenir nèctar per nodrir-se utilitza les larves de *T.absoluta*.



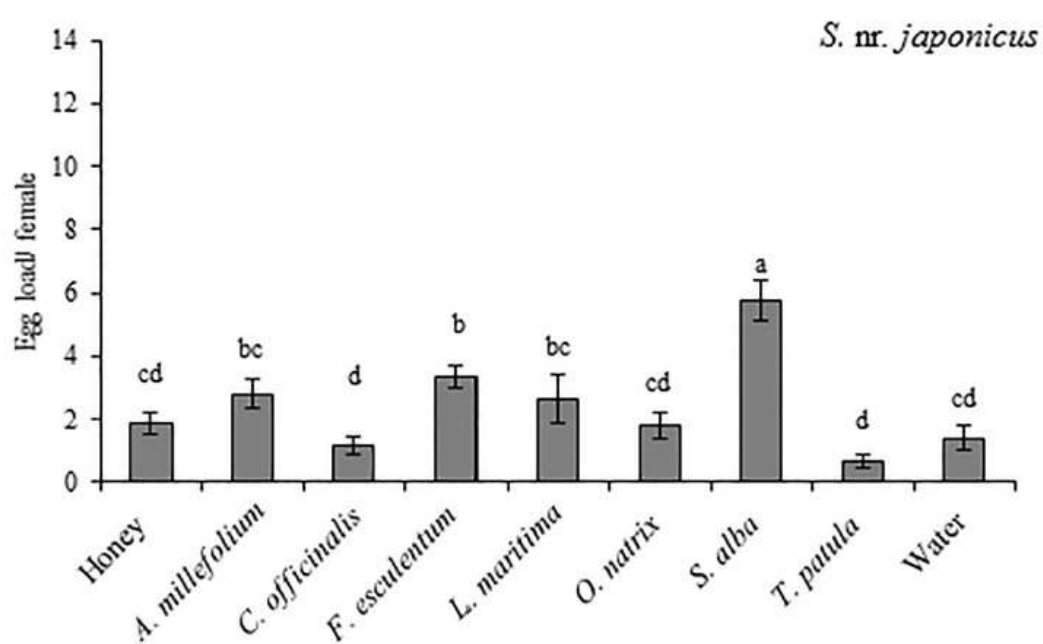


Figura 5-2 Arnó. Càrrega d'ous o mitjana d'oòcits madurs per femella (\pm error estàndard) de *S.nr.japonicus* després d'alimentar-se amb diferents fonts d'aliment. Les barres amb diferents lletres mostren diferències significatives entre els tractaments ($P < 0,05$, la prova de Tukey).

Tot i aquestes observacions recalcar que no existeixen diferències significatives i que per tant, aquestes espècies de plantes estudiades no aporten un benefici clar per el desenvolupament i activitat de *Stenomesius japonicus*.

Conclusions

- El *Diglyphus spp.* és el gènere de parasitoides més abundant en el control de *Liriomyza spp.* i el gènere *Necremnus spp.* en el control de *Tuta absoluta*.
- El parasitisme en *Liriomyza spp.* és considerablement elevat, especialment a l'inici de la campanya, per tant, pot ser un factor important en el control de la plaga.
- El nivell de parasitisme natural sobre *Tuta absoluta* més elevat es dona a finals del cultiu. Quedaria per determinar quin impacte té el parasitoide sobre la mortalitat larvària de la plaga.
- La disponibilitat de nèctar floral per alimentar als adults del parasitoide *S.japonicus*, quan aquest disposa de la plaga per alimentar-se, no incrementa la eficàcia del parasitoide.



Bibliografia

Referències bibliogràfiques

Albajes R, Gabarra R, Castañé C, Alomar O, Arnó J, Ariño J, Bellavista J, Martí M, Moliner J, Ramírez M, (1994). Implementation of an IPM program for spring tomatoes in mediterranean greenhouse. IOBC wprs, num 17 pp: 14-21.

Albajes R, Alomar O (1999). Current and potential use of polyphagous predators. In: Albajes R, Gullino ML, van Lenteren JC, Elad Y (eds) Integrated pest and disease management in greenhouse crops developments in plant pathology, vol 14. Kluwer, Dordrecht, pp 265–275

Albajes R, Casadevall M, Bordas E, Gabarra R, Alomar O. (1980). La mosca blanca de los invernaderos, *Trialeurodes vaporariorum*, en el Maresme II. Utilización de *Encarsia tricolor* (HYM.; APHELINIDAE) en un invernadero de tomate temprano. Ser. Agríc, 13, 191–203.

Alomar O, Gabarra R, González O, Arnó J. (2006). Selection of insectary plants for ecological infrastructure in Mediterranean vegetable crops. IOBCwprs Bull. 29, 5–8.

Alomar O, Arnó J, Gabarra R. (2008). Insectary plants to enhance the biological control of *Nasonovia ribisnigri* and *Frankliniella occidentalis* in lettuce. IOBCwprs Bull. 34, 9–12.

Arnó J, Gabarra R. (2011). Side effects of selected insecticides on the *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) predators *Macrolophus pygmaeus* and *Nesidiocoris tenuis* (Hemiptera: Miridae). J Pest Sci 84:513–552

Arnó J, Alonso E, Gabarra R. (2003). Role of the parasitoid *Diglyphus isaea* (Walker) and the predator *Macrolophus caliginosus* Wagner in the control of leafminers. IOBC/WPRS Bull 26:79–84

Arnó J. (2013). Papel del control biológico en los programas de Gestión Integrada de Plagas en los cultivos hortícolas. Phytoma España num 252 pp: 74.

Arnó J, Gabarra R, Alomar O. (2012). Hymenoptera abundance on candidate plants for conservation biological control. IOBCwprs Bull. 75, 13–16.

Arnó J, Gabarra R. (2010). L'arna del tomàquet. Enciclopèdia Catalana. Fauna i flora: suplement / Història natural dels Països Catalans pp:54

Arnó J, Mussoll A, Gabarra R. (2009). *Tuta absoluta* una nueva plaga en los cultivos de tomate. Estrategias para su manejo. PHYTOMA España num 211 pp:1-5

Arnó J, Oveja M.F, Gabarra R. (2018). Selection of flowering plants to enhance the biological control of *Tuta absoluta* using parasitoides. Biological Control num 122 pp:41-50

Balzan M.V, Wäckers F.L. (2013). Flowers to selectively enhance the fitness of a hostfeeding parasitoid: Adult feeding by *Tuta absoluta* and its parasitoid *Necremnus artynes*. Biol. Control 67, 21–31.

Benelli G, Giunti G, Tena A, Desneux N, Caselli A, Canale A. (2017). The impact of adult diet on parasitoid reproductive performance. J. Pest Sci. 90, 807–823. biológico de plagas agrícolas, PHYTOMA España, Valencia.

Biondi A, Desneux N, Amiens-Desneux E, Siscaro G, Zappalà L. (2013). Biology and developmental strategies of the palaearctic parasitoid *Bracon nigricans* (Hymenoptera: Braconidae) on the Neotropical moth *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). J. Econ. Entomol. 106, 1638–1647.

Bompard A, Jaworski CC, Bearez P, Desneux N (2013). Sharing a predator: can an invasive alien pest affect the predation on a local pest? Pop Ecol 55:433–440

Bosch J, Retana J, Cerdá X. (1997). Flowering phenology, floral traits and pollinator composition in a herbaceous Mediterranean plant community. Oecologia 109, 583–591.

Calvo F.J, Soriano J.D., Bolckmans K, Belda J.E. (2013). Host instar suitability and lifehistory parameters under different temperature regimes of *Necremnus artynes* on *Tuta absoluta*. Biocontrol. Sci. Technol. 23, 803–815.

Calvo FJ, Lorente MJ, Stansly PA, Belda JE. (2012). Preplant release of *Nesidiocoris tenuis* and supplementary tactics for control of *Tuta absoluta* and *Bemisa tabaci* in greenhouse tomato. Entomol Exp Appl 143:111–119



- Castañé C, Alomar O, Goula M, Gabarra R (2004). Colonization of tomato greenhouses by the predatory mirid bugs *Macrolophus caliginosus* and *Dicyphus tamaninii*. Biol Control 30:591–597
- Chailleux A, Desneux N, Arnó J, Gabarra R. (2014). Biology of two key Palaearctic larval ectoparasitoides when parasitizing the invasive pest *Tuta absoluta*. J. Pest Sci. 87, 441–448.
- Desneux N, Wajnberg E, Wyckhuys KAG, Burgio G, Arpaia S, Narvaez-Vasquez CA, Gonzalez-Cabrera J, Ruescas DC, Tabone E, Frandon J, Pizzol J, Poncet C, Cabello T, Urbaneja A (2010). Biological invasion of European tomato crops by *Tuta absoluta*: ecology, geographic expansion and prospects for biological control. J Pest Sci 83:197–215
- Dib H, Libourel G, Warlop F. (2012). Entomological and functional role of floral strips in an organic apple orchard: Hymenopteran parasitoides as a case study. J. Insect Conserv. 16, 315–318.
- Foelkel E, Redaelli LR, Jahnke SM, Losekann PB (2009). Predation and parasitism of *Cirrospilus neotropicus* (Hymenoptera: Eulophidae) on *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera: Gracillariidae) in laboratory. Rev Colomb Entomol 35:156–162
- Gabarra R, Arnó J, Riudavets J. (2008). Tomate. In: Jacas, J., Urbaneja, A. (Eds.), Control Biológico de Plagas agrícolas. Phytoma España, Valencia, pp. 410–422.
- Gabarra R, Arnó J. (2010). Resultados de las experiencias de control biológico de la polilla del tomate en cultivo de invernadero y aire libre en Cataluña . PHYTOMA, España num 217 pp: 66-68
- Geneau C.E, Wäckers F.L, Luka H, Daniel C, Balmer O. (2012). Selective flowers to enhance biological control of cabbage pests by parasitoides. Basic Appl. Ecol. 13, 85–93.
- Heimpel G.E, Jervis M.A. (2005). Does floral nectar improve biological control by parasitoides? In: Wäckers F.L, van Rijn P.C.J., Bruin J. (Eds.), Plant-Provided Food for Carnivorous Insects: A Protective Mutualism and its Applications. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 267–304.
- Jaworski CC, Bompard A, Genies L, Amiens-Desneux E, Desneux N. (2013). Preference and prey switching in a generalist predator attacking local and invasive alien pests. PLoS ONE. doi:10.1371/journal.pone.0082231



Jervis M.A, Ellers J, Harvey J.A. (2008). Resource acquisition, allocation, and utilization in parasitoid reproductive strategies. *Ann. Rev. Entomol.* 53, 361–385.

Johnston FA (1915). Asparagus-beetle egg parasite. *J Agric Res* 4:303–314

Luna MG, Wada VI, La Salle J, Sanchez NE. (2011). *Neochrysocharis formosa* (Westwood) (Hymenoptera: Eulophidae), a newly recorded parasitoid of the tomato moth, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), in Argentina. *Neotrop Entomol* 40:412–414

Luna MG, Wada VI, Sanchez NE (2010). Biology of *Dineulophus phtorimaeae* (Hymenoptera: Eulophidae) and field interaction with *Pseudapanteles dignus* (Hymenoptera: Braconidae), larval parasitoids of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) in tomato. *Ann Entomol Soc Am* 103:936–942

Lykouressis DP, Perdakis DC, Konstantinou AD. (2009). Predation rates of *Macrolophus pygmaeus* (Hemiptera: Miridae) on different densities of eggs and nymphal instars of the greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae). *Entomol Gener* 32:105–112

Musundire R, Chabi-Olaye A, Salifu D, Kruger K (2012) Host plant related parasitism and host feeding activities of *Diglyphus isaea* (Hymenoptera: Eulophidae) on *Liriomyza huidobrensis*, *Liriomyza sativae*, and *Liriomyza trifolii* (Diptera: Agromyzidae). *J Econ Entomol* 105:161–168

Nicolson S.N., Thornburg R.W. (2007). Nectar chemistry. In: Nicolson, S.N., Nepi, M., Pacini, E. (Eds.), *Nectaries and Nectar*. Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 215–264.

Rahat S, Gurr G.M, Wratten S.D, Mo J.H., Neeson R. (2005). Effect of plant nectars on adult longevity of the stinkbug parasitoid *Trissolcus basalidis*. *Int J. Pest Manage.* 51, 321–324.

Sánchez JA (2009). Density thresholds for *Nesidiocoris tenuis* (Heteroptera: Miridae) in tomato crops. *Biol Control* 51:493–498

Sánchez J.A., Lacassa A. (2006). A biological pest control story. *IOBCwprs Bull.* 29(4) : 19:24.

Tena A, Wäckers F.L., Heimpel G.E., Urbaneja A, Pekas A. (2016). Parasitoid nutritional ecology in a community context: the importance of honeydew and implications for biological control. *Curr. Opin. Insect Sci.* 14, 100–104.



Urbaneja A, Gonzalez-Cabrera J, Arnó J, Gabarra R (2012) Prospects for the biological control of *Tuta absoluta* in tomatoes of the mediterranean basin. *Pest Manag Sci* 68:1215–1222

Urbaneja A, Vercher R, Navarro V, García-Marí F, Porcuna J.L. (2007). La polilla del tomate, *Tuta absoluta*. *Phytoma España* 194, 16–23.

Urbaneja A, Monton H, Molla O. (2009). Suitability of the tomato borer *Tuta absoluta* as prey for *Macrolophus pygmaeus* and *Nesidiocoris tenuis*. *J Appl Entomol* 133:292–296

Vattala H.D., Wratten S.D., Phillips C.B., Wäckers F.L. (2006). The influence of flower morphology and nectar quality on the longevity of a parasitoid biological control agent. *Biol. Control* 39, 179–185.

Wäckers F.L. (2004). Assessing the suitability of flowering herbs as parasitoid food sources: flower attractiveness and nectar accessibility. *Biol. Control* 29, 307–314.

Wäckers F.L. (2005). Suitability of (extra-) floral nectar, pollen, and honeydew as insect food sources. In: Wäckers, F.L., van Rijn, P.C.J., Bruin, J. (Eds.), *Plant-Provided food for Carnivorous Insects: A Protective Mutualism and its Applications*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 17–74.

Wäckers F.L., Romeis J, van Rijn P.C.J. (2007). Nectar and pollen feeding by insect herbivores and implications for multitrophic interactions. *Annu. Rev. Entomol.* 52, 301–323.

Wäckers F.L., van Rijn P.C.J., Heimpel G.E. (2008). Honeydew as a food source for natural enemies: Making the best of a bad meal? *Biol. Control* 45, 176–184.

Winkler K, Wäckers F.L., Pinto D.M. (2009). Nectar-providing plants enhance the energetic state of herbivores as well as their parasitoids under field conditions. *Ecol. Entomol.* 34, 221–227.

Zappalà L, Siscaro G, Biondi A, Mollá O, González-Cabrera J, Urbaneja A (2012a) Efficacy of sulphur on *Tuta absoluta* and its side effects on the predator *Nesidiocoris tenuis*. *J Appl Entomol* 136:401–409

Zappalà L, Bernardo U, Biondi A, Cocco A, Deliperi S, Delrio G, Giorgini M, Pedata P, Rapisarda C, Tropea Garzia G, Siscaro G (2012b) Recruitment of native parasitoides by the exotic pest *Tuta absoluta* (Meyrick) in Southern Italy. Bull Insectol 65:51–61

